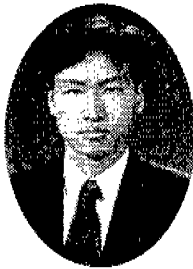


배전용 복합재료전주의 자외선 차단기술 연구



이웅선
(오리엔탈공업(주) 과장)



한만준
(오리엔탈공업(주) 연구소장)



송일근
(전력연구원 선임연구원)



조한구
(한국전기연구원 선임연구원)

1. 서론

현재 국내에서 일반적으로 널리 사용되는 전주의 종류로는 콘크리트주, 강관주, 목주 등이 있다. 이중 현재 목주는 국내에서 거의 사용되지 않고 있으며 콘크리트주가 실질적으로 가장 많이 사용되고 있는 실정이다. 강관주는 특수한 용도로써 제한적으로 사용되고 있다.

가장 널리 사용되고 있는 콘크리트주의 경우 상당히 많은 문제점을 나타내고 있다. 우선 일반적으로 많이 볼 수 있는 배전선로 16m전주의 경우 무게가 약 2.5톤에 이르고 있다. 이로 인한 취급, 운반 및 설치 등이 어렵고 또한 콘크리트 재료 자체의 특성상 내오손 및 풍화로인한 강도저하로 장기적인 신뢰성 문제가 대두되고 있다. 또한 최근 일부지역에서 콘크리트주의 도괴로 인한 사고가 보고된 바 있다. 콘크리트는 또한 우천시 수분을 흡수하기 때문에 절연애자의 절연파괴시 수분흡수로 인한 섬락 및 전기절연의 문제 또한 대두된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 강관전주가 일부 콘크리트주를 대체하고 있으나 역시 강관전주가 가지는 재료적인 단점을 보완하고자 다단계 설계, 도금 등으로 인한 비용증가, 도전성 등의 문제가 제기되고 있다. 이러한 모든 단점들을 극복하기 위하여 선진국에서는 특수복합소재의 전주가 개발되어 사용되고 있는 실정이다.

이러한 복합소재 제품에 있어 가장 취약한 부분으로 취급되는 부분중의 하나가 복합소재 재료중의 하나인 수지로 인한 자외선 안정성 문제라 하겠다. 자외선에 대한 복합소재의 안정성을 높이고 제품의 장수명화를 이루는 것은 가장 중요한 사항이다.

2. 본론

2.1 복합재료의 내후성

복합재료는 여러 가지 다양한 재료로서 구성되어 있다는 의미이지만 특별히 본 연구에 있어서 복합재료라 함은 유리섬유가 보강된 강화플라스틱(fiber reinforced plastics)을 말한다. 이러한 복합재료는 유리섬유가 주된 기계적 강도를 유지하며, 유리섬유를 지지하기 위한 기지체인 수지(resin)로 구성된다.

수지와 유리섬유로 이루어진 복합재료 제품이 외부 즉 태양에 노출되었을 때 일어나는 열화현상이 문제가 되는데, 이러한 열화현상은 제품의 최외부 즉 표면에 국한되는 문제이다. 거시적으로 제품의 측면에서 보면, 표면열화현상에 의한 제품전체의 강도에는 영향을 미치지 않는다. 그렇지만 이러한 표면 열화는 제품 내부의 유리섬유를 노출시키게 되며 궁극적으로는 제품으로서의 기능을 상실하게도 할 수 있는 문제가 발생된다.

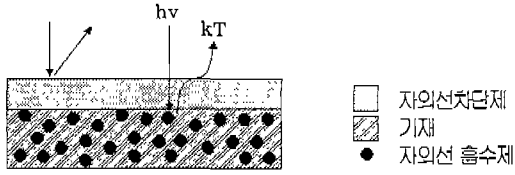


그림 1. 자외선 차단 기구.

수지는 여러 가지 종류가 있지만 일반적으로 복합재료에 사용되는 수지는 열경화성 수지가 주를 이루고 있으며, 자외선의 강한 에너지에 의해 이러한 수지의 가교된 체인이 끊겨짐으로 인하여 경화된 수지가 파괴되는 현상이 앞에서 언급한 열화의 원인이 되는 것이다.

자외선을 차단하는 방법으로는 일반적으로 염료, 충전제, 자외선 안정제 등을 수지혼합물에 첨가하는 방법과 제품의 표면에 자외선차단도료를 도포하는 것 등이 있으며 개략적인 형태는 그림 1과 같다.

2.2 공법선정

복합재료로 제품을 성형하기 위해서 가장 중요한 일이 공법을 선정하는 것이다. 복합재료공법에는 다양한 공법이 있으며 각 공법의 특성에 따라 기본적으로는 같은 원리이지만 자외선 차단 방법을 달리 선택하여야 한다.

복합재료로 전주를 만들기 위해서는 강도와 길이 등을 고려할 때 크게 두가지 즉 인발공법과 필라멘트와인딩 공법을 고려할 수 있다.

인발(pultrusion)성형은 연속섬유에 수지를 함침시켜 단면이 일정한 형상을 지닌 가열된 금형을 통하여 경화시키면서 연속적으로 제품을 성형하는 방법이다. 긴 튜브, 봉 및 채널 등과 같이 길이 방향으로 똑같은 단면을 가진 제품을 제조할 때 사용된다.

필라멘트와인딩(filament winding)공법은 수지가 함침된 연속섬유를 회전하는 심축위에 감아서 주로 파이프나 압력용기, 로켓, 모터케이스 등과 같은 축대칭 복합재료 구조물을 제작하는 방법이다. 필라멘트 와인딩 성형은 심축의 회전속도와 섬유의 공급위치를 이동시키는 캐리지(carriage)의 속도를 조절하여 일정한 와인딩 각도와 패턴으로 수지가 함침된 연속섬유를 심축에 감을 수 있는 성형기를 이용한다. 설계상의 두께까지 와인딩 되면 와인딩된 심축을 와인딩기에서 떼어내어 경화로의 회전축에 걸고 회전시키면서 경화시킨다. 경화후 심축을 탈형시키고 필요에 따라 표면을 가공하는 과정이 일반적인 필라멘트 와인딩 성형과정이다.

표 1과 같은 비교를 통하여 보면 인발은 외관이 우수하고 외부형상이 다양하며 비교적 생산성이 우수하다는 장점을 지니고 있다. 반면 필라멘트와인딩 공법은 다품종에 용이하고 경

표 1. 공법비교.

항목	인 발	필라멘트와인딩
외관 물성	내외부 우수한 표면 형상에 의한 강도증가 가능, 전 길이 동일 단면만 가능	내부만 표면우수 파이프형상만 가능 원추형으로 필요한 테이퍼 부여가능
경량화	형상에 의한 보강으로 경량화 가능하나 전 길이 동일 단면으로 무게증가	필요한 테이퍼를 부여하여 경량화 실현
사 용 편의성	외부평판부위에 직접부착	기존 콘크리트주와 같은 형상으로 기존의 각종 부품이 사용가능
설계 및 양산	기계를 일부분 교체하여 야만 다품종 생산가능	금형만 교체하면 다품종 생산가능

량화가 우수하며 기존 콘크리트주와 같은 형상으로 부품공유가 가능하다는 장점을 지니고 있다. 위 두가지 모두 선진국에서 사용하여 양산하는 방법이나 국내의 실정을 감안한다면 기존 콘크리트전주와의 원금, 근가, 가공지선지치대를 공유할 수 있는 필라멘트와인딩 공법을 선정하는 것이 유리하므로 필라멘트 와인딩 공법을 주공법으로 하여 전주를 제작하였다.

2.3 제조공정

필라멘트와인딩 공법은 재료의 경제성과 재료대체 운영의 탄력성이 있으므로 특히 테이퍼 형태의 전주에 있어서는 다른 공법 선택의 여지가 없다.

불포화폴리에스터 수지와 E-glass강화재를 사용하여 필라멘트와인딩한 후 직조되지 않은 폴리에스터 패브릭을 표면에 적용하고 경화로에서 경화시킨다. 경화후 제품을 벤드릴(금형)로부터 제거한다. 제품이 탈형된후 길이, 구멍 등을 가공한다. 마지막으로 폴리우레탄으로 최종 표면 페인트 처리한다.

자외선에 따른 오손문제로서 앞서도 언급한 바와 같이 자외선에 노출되어 가장 먼저 일어나는 현상은 부풀음(blooming)현상이다. 이것은 표면에 유리섬유가 노출되는 현상이다. 이러한 부풀음과 표면오염은 자외선의 에너지 레벨에 의해 좌우되고 초기 3년간에 높은 에너지 영역에 의해 시작된다. UV 문제를 극복하여 장기표면수명을 위해 다음의 제조공정을 개발하였다. (1) 직접적인 UV 차단을 위하여 외피에 UV차단제가 함유된 코팅을 실시한다. (2)제품 와인딩 후 최외부 표면 와인딩을 UV차단페일을 사용한다. (3) 와인딩 공정중 수지함침조에 UV안정제를 혼합하여 제품전체에 안정제가 함유되도록 한다.

2.4 자외선차단베일에 따른 자외선 열화특성

자외선 차단베일을 사용함에 따른 효과를 알아보기 위하여 자외선 차단베일을 사용한 시편과 자외선 차단베일을 사용하지 않은 시편을 자외선 가속열화 장치에 각각 종류가 다른 시편을 삽입하고 시간에 따라서 분석하였다.

자외선램프는 가속열화 실험시간이 400시간 경과함에 따라 교체하여 새로운 램프를 삽입하여서 실험하였다.

그림 2는 UV차단베일을 사용하지 않은 시편이고 그림 3은 UV차단베일을 사용한 시편이다. 그림 2와 3은 자외선 가속열화에 따른 표면상태를 전자현미경(SEM)으로 관찰한 것이다. 자외선차단베일이 사용되지 않은 시편에서는 그림2와 같이 표면상태가 시간이 경과함에 따라 수지의 열화로 인하여 표면에 섬유가 도출되고 크랙이 생기는 현상을 볼 수 있다.

그림 3은 자외선차단베일을 사용한 결과로써 자외선 열화시간이 경과함에 따라 표면이 조금씩 열화되는 양상을 보이고는 있으나 내부의 유리섬유가 드러나거나 크랙이 생기는 현상은 일어나지 않았다. 이것은 자외선 차단베일 및 자외선 차단베일을 적용하기 위한 수지의 함유량이 증대됨에 따라 자외선이 차단되고 표면 크랙 발생을 방지하는 것을 알 수 있다.

2.5 우레탄 도료에 따른 자외선 열화특성

제품 최외부에 1차적으로 자외선을 차단하기 위하여 비교적 우수한 것으로 알려진 국내 3종의 도료를 선정하여 자외선 열화시험을 하였다.

선정된 3종의 도료로는 스피그립451, 스피그립5000, 슈퍼탄300을 선정하였다.

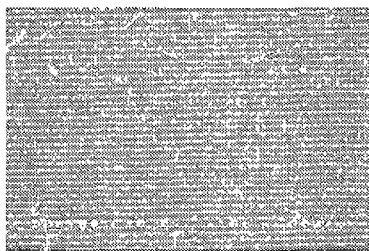
시편제작은 E-glass 유리섬유와 수지로써 불포화폴리에스테르수지를 7:3의 비율로 제작한 시편에 자외선 차단베일을 사용하여 최외각 부분을 다시 보호한 후 여기에 선정된 3종의 도료를 도포하여 자외선 열화시험을 하였다.

각 도료의 특성을 분석하기 위하여 400시간, 800시간, 1200시간의 경과에 따라 시편을 검사하고 분석을 하기 위하여 시료를 발취하여 가식적으로 보여지는 상태를 확인하고 전자현미경(SEM)을 사용하여 시료의 표면상태를 분석하였다.

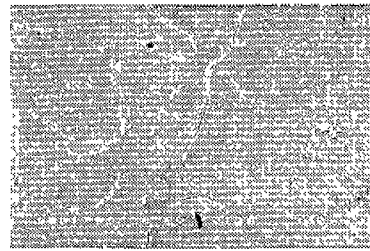
표 2는 시간경과에 따른 자외선 가속열화시 3종류 도료의 변화상태를 육안 및 전자현미경으로 관찰한 결과이다.

표 2. UV 가속열화 한 3종류의 도료.

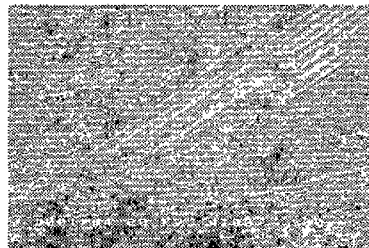
종류	분석	400Hr	800Hr	1200Hr
스피그립 451	색상	변화없음	변화없음	광택이 없음
	SEM	변화없음	변화없음	코팅막 열화
스피그립 5000	색상	변화없음	무광택 및 황변	황변
	SEM	변화없음	부분적으로 열화	코팅막 열화
슈퍼탄 300	색상	무광택 및 황변	황변	황변 및 탈색
	SEM	변화없음	코팅막 열화	코팅막 열화



(a) 시험전



(b) 100시간



(c) 400시간



(d) 600시간

그림 2. 시간에 따른 UV열화된 시편(자외선 차단베일 미사용)

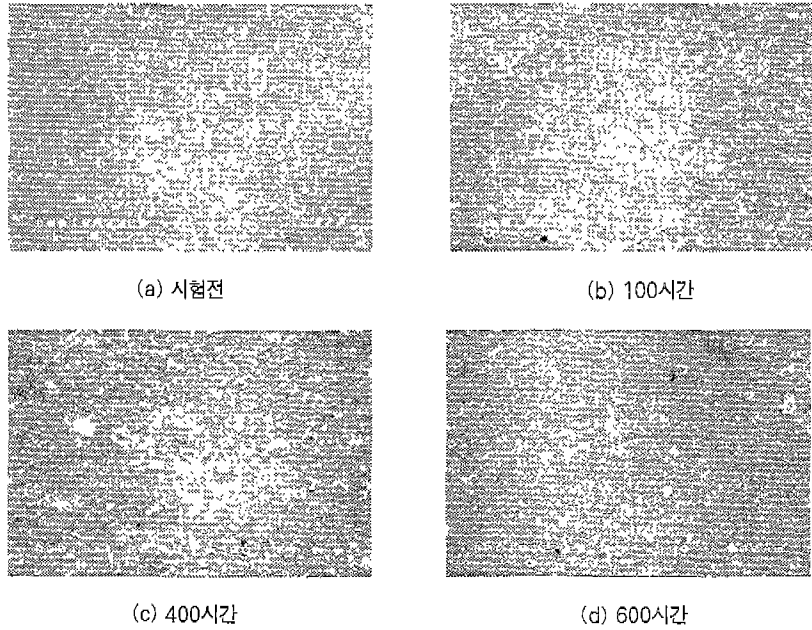


그림 3. 시간에 따른 UV열화된 샘플(자외선 차단베일 사용)

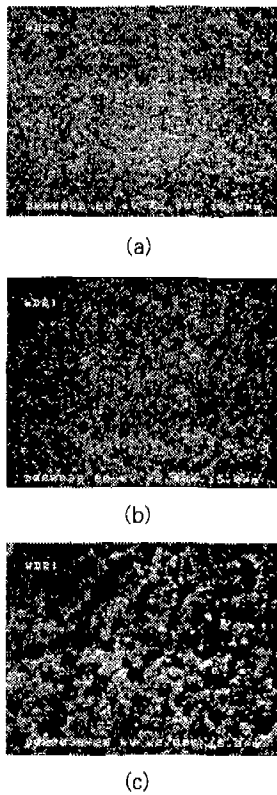


그림 4. 1200시간 자외선 가속열화후의 표면상태: (a) 스피그립451, (b) 스피그립5000, (c) 슈퍼탄300

폴리우레탄 도료의 특성으로는 플라스틱, 고무, 금속 등과의 밀착성이 우수하고 상온에서 사용할 수 있으며 가열에 의한 경화가 빠르고, 도막경도가 높고 탄성이 있으며 내마모성이 우수하고 내후성이 좋고 내수, 내약품성이 우수하다.

그림 4는 스피그립 451, 5000, 슈퍼탄300의 1200시간 자외선 가속열화시험후의 그림이다.

그림 4에서 보는 바와 같이 1200시간 가속열화 후의 표면 상태는 스피그립451이 제일 안정적이며 슈퍼탄300의 경우에는 표면열화가 심한 것을 볼 수 있다.

위와 같은 결과를 토대로 하여 자외선 차단을 위한 제조 공정은 수지혼합물에 자외선 안정제로서 Sb_2O_3 를 사용하였고 다시 제품제조중 최외각층에 자외선 차단베일을 다시 최종 제품경화중에는 자외선차단도료로써 스피그립451을 사용하여 복합소재 전주의 자외선에 의한 열화 방지를 하였다. 이러한 3종의 복합 자외선 차단방지를 통하여 현재 예측하고 있는 복합재료 전주의 수명은 50년정도로 판단하고 있다.

현재 선진국의 경우에 있어서는 이러한 차단제를 사용함에 있어 제품의 난연성은 크게 고려하지 않고 있는 것으로 사료된다. 개발된 복합재료 전주와 선진국의 전주 난연성시험결과 선진국의 난연정도는 자기소화정도와는 거리가 멀었다. 이는 자외선 차단제, 난연제 등의 가격이 고가이기 때문에 경제성과 밀접한 관계가 있다고 보여진다.

3. 결 론

복합재료 전주는 비교적 적은 인력으로 인력전주를 할수 있어 접근이 쉽지 않은 지역의 유일한 대안으로 사용할 수 있다. 또한 복합재료전주는 주문자의 요구에 따라 색깔을 자유자재로 조절하여 생산이 가능하므로 주위환경에 적합한 색상을 제공할 수 있다. 토양오염, 수질오염 등 어떠한 오염도 일으키지 않으며 콘크리트나 목주에 비해서도 폐기하기 쉽다는 장점을 지니고 있다.

이와같이 뛰어난 복합재료전주의 장수명화를 위하여 자외선 차단용 제품의 내부, 즉 수지혼합물에 자외선 안정제를 혼합하고 제품의 제조공정상 마지막 단계에 자외선 차단베일을 사용하고 다시 우레탄도료를 코팅하는 방법을 개발하였다. 자외선 차단베일을 사용함으로써 인하여 표면열화 방지가 되는 것을 관찰하였으며 국내도료증 스펙그립451을 사용하였을 때 자외선 열화가속시험에서 1,200시간이상의 장기간 폭로후에도 열화가 거의 없음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국전력공사의 중소기업지원 협력연구과제로써 1999년 11월부터 2001년 5월까지 수행된 '환경친화적 배전용 전주개발'의 연구결과 중 일부입니다. 본 과제를 수행할 수 있도록 배려해주신 한국전력공사 관련부서 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] A. Brent Strong, "Fundamentals of Composites Manufacturing", Society of Manufacturing Engineers, pp.120-130, 1989.
- [2] Theodore J. Reinhart et al, "Composites", ASM international, pp.533-543, 1987.
- [3] SPI, "Fiberglass Pipe Handbook 2nd edition", Composites institute, p.16, p.121, 1992.
- [4] "환경친화적 배전용 전주개발 최종보고서", 한국전력공사 전력연구원, pp.83-90, 2001.

저 자 약 력

성명 : 이 응 선

◆학력

1992년 충남대학교 재료공학과
1994년 충남대학원 재료공학전공
1994년-1998년 한국과학기술원 재료공학과

◆경력

1994년-현재 오리엔탈공업(주) 과장

성명 : 한 만 준

◆학력

1972년 인하대 기계공학과
1978년 고려대학교 대학원

◆경력

1972년-2000년 국방과학연구소 책임연구원
2000년-현재 오리엔탈공업(주) 연구소장

성명 : 송 일 근

◆학력

1984년 송실대 전기공학과(학사)
1986년 송실대 대학원 전기공학과(석사)
1997년 송실대 대학원 전기공학과(박사)

◆경력

1985년-현재 전력연구원 배전기술센터 선임연구원

성명 : 조 한 구

◆학력

1987년 성균관대학교 대학원 전력공학
1995년 성균관대학교 대학원 전기재료공학

◆경력

1987년-현재 한국전기연구원 선임연구원